

DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LILLE 1 SCIENCES ET TECHNOLOGIES

N° d'ordre : 42258

NOM/PRENOM DU CANDIDAT : ROUXEL BAPTISTE

Ecole doctorale : Science de la Matière de l'Environnement et du Rayonnement (SMRE)

Laboratoire : Unité Matériaux et Transformations

Discipline : Science des matériaux - métallurgie

Si cotutelle, établissement partenaire :

JURY :

- Directeur(s) de thèse : Alexandre LEGRIS

- Rapporteurs : Michel PEREZ et Marie-France BARTHE

- Examineurs : Alexandre LEGRIS, Yann DE CARLAN, Caroline BISOR, Martine BLAT-YRIEIX, Joël MALAPLATE, Thomas JOURDAN

SOUTENANCE : (16/12/2016, 10h à Neurospin-91191)

TITRE DE LA THESE :

Développement d'aciers austénitiques avancés résistant au gonflement sous irradiation

RESUME :

Dans le cadre des études sur les réacteurs de 4^{ème} génération, le CEA développe de nouvelles nuances d'aciers austénitiques pour le gainage du combustible des réacteurs à neutrons rapides (RNR) à caloporteur sodium. Ces aciers présentent d'excellentes propriétés mécaniques mais leur utilisation peut être limitée du fait de leur gonflement sous irradiation. La formation de cavités est observée dans l'alliage et fragilise le matériau. L'alliage de référence en France est un acier 15Cr/15Ni stabilisé au titane appelé AIM1. Cette étude cherche à comprendre le rôle joué par divers éléments d'alliages et paramètres microstructuraux sur la formation des cavités sous irradiation et contribuer ainsi au développement d'une nuance AIM2 plus résistante au gonflement.

Dans une démarche analytique, des matériaux modèles ont été élaborés avec des compositions chimiques et des microstructures spécifiques. Dix nuances ont été coulées avec des variations chimiques en Ti, Nb, Ni, et P. Quatre microstructures type par alliage mettent en évidence le rôle des dislocations, des solutés ou des nano-précipités sur le gonflement. Ces matériaux ont été caractérisés principalement par MET et DNPA avant d'être irradiés aux ions Fe²⁺ (2 MeV) dans le but de simuler les dommages neutroniques.

Il a été montré que les solutés jouaient un rôle prépondérant sur la formation des cavités. C'est en particulier le titane en solution solide qui réduit le gonflement, alors que le niobium ne possède pas cette qualité. Enfin, une matrice enrichie de 15% à 25% de nickel reste favorable pour limiter le gonflement dans ces aciers avancés.

DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LILLE 1 SCIENCES ET TECHNOLOGIES

N° order: 42258

NAME/SURNAME OF THE CANDIDATE : ROUXEL BAPTISTE

Doctoral School : Alexandre LEGRIS

Laboratory : Michel PEREZ et Marie-France BARTHE

Discipline : Materials science - metallurgy

In case of co-tutorial thesis, provide the partner institution :

THESIS COMMITTEE :

- Thesis supervisor(s) :

- Referees : Michel PEREZ and Marie-France BARTHE

- Examiners : Alexandre LEGRIS, Yann DE CARLAN, Caroline BISOR, Martine BLAT-YRIEIX, Joël MALAPLATE, Thomas JOURDAN

DEFENSE : (16/12/2016, 10h at Neurospin-91191)

TITLE OF THE THESIS :

Development of austenitic stainless steels resistant to voids swelling under irradiation

ABSTRACT :

In the framework of studies about Sodium Fast Reactors (SFR) of generation IV, the CEA is developing new austenitic steel grades for the fuel cladding. These steels demonstrate very good mechanical properties but their use is limited because of the void swelling under irradiation. Beyond a high irradiation dose, cavities appear in the alloys and weaken the material. The reference material in France is a 15Cr/15Ni steel, named AIM1, stabilized with titanium. This study try to understand the role played by various chemical elements and microstructural parameters on the formation of the cavities under irradiation, and contribute to the development of a new grade AIM2 more resistant to swelling.

In an analytical approach, model materials were elaborated with various chemical compositions and microstructures. Ten grades were casted with chemical variations in Ti, Nb, Ni and P. Four specific microstructures for each alloy highlighted the effect of dislocations, solutes or nano-precipitates on the void swelling. These materials were characterized using TEM and SANS, before irradiation with Fe^{2+} (2 MeV) ions in the order to simulate the damages caused by neutrons.

Comparing the irradiated microstructures, it is demonstrated that the solutes have a dominating effect on the formation of cavities. Specifically titanium in solid solution reduces the swelling whereas niobium does not show this effect. Finally, a matrix enriched by 15% to 25% of nickel is still favorable to limit swelling in these advanced austenitic stainless steels.